

Válasz Dr Kovács Ferenc bírálataira

Doktori mű címe: Rendezett cink-oxid nanoszálak

Köszönöm Dr. Kovács Ferencnek, az MTA doktorának az alapos bírálói munkáját, az értekezés és a tézispontok véleményezését. Hálás vagyok a rendkívül gondolatébresztő szakmai kérdésekért, melyekre az alábbiakban részletezem válaszaim.

1. Egy adott, megvalósítandó függvény szerint létrehozott „nanoszál-Galtondeszka” nem alkalmazható-e egy analóg értéket hordozó lézernyalábnak a processzálására, vagyis egy végtelenül gyors analóg művelet-végrehajtónak a megvalósítására?

Köszönöm a nagyon izgalmas felvetést! A bemutatott optikai szerkezet konfigurációja valóban mutat hasonlóságot a Galton-deszkával. A merev golyók rudakon való ütközése helyett azonban itt fotonok szóródnak átlátszó dielektrikumokon és a hullámtermészetüknek köszönhetően egy kollektív és előre tervezett intenzitásmezőt hoznak létre a sokszoros interferencia révén. Bár a centrumokon való 50%-os valószínűségű állapotkiválasztás ezzel a technikával nem valósítható meg, az optikai Galton-deszkat elektrooptikai modulátorral és optikai rezonátorral több kutatócsoport is vizsgálta már [1], [2].

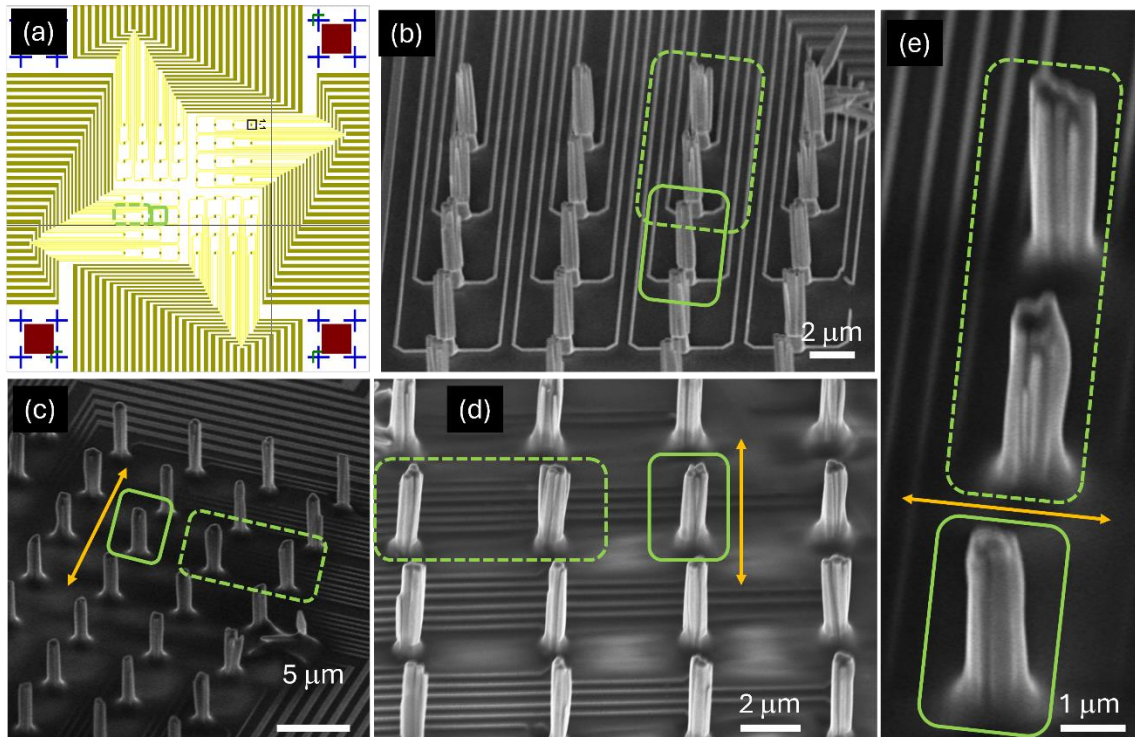
A direkt analógiától függetlenül a bemutatott inverz tervezett aperiodikus fotonikus kristály számos szempontból ideális platform analóg optikai számítások végrehajtására. A koncepciókat részletező cikk 2008-as megjelenése óta ennek jelentősége lényegesen felértékelődött, különösen a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás területén. Az oszlopok pozíciójában és átmérőjében rendelkezésre álló szabadsági fokok lehetővé teszik, hogy különféle funkciókat valósítsunk meg: például hullámfront modulációt, Fourier-transzformációt, vagy az optikai neurális hálózatok szempontjából kulcsfontosságú vektor-mátrix szorzást, amely képfeldolgozási feladatoknál is alapvető szerepet játszik. Érdemes megjegyezni, hogy a *Science* folyóiratban nemrégiben megjelent egyik publikáció [3] hasonló koncepciót mutat be optikai neurális hálózatok megvalósítására 3D nyomtatott diffraktív optikai elemek felhasználásával a terahertzes frekvenciatartományban. Az általunk használt technológiának köszönhetően azonban ez az optikai elem kisebb méretben lenne megvalósítható, ráadásul továbbra is a látható spektrumban maradhatnánk, ami fontos előny.

Konkréten a vektor-mátrix szorzás optikai megvalósítása a következő módon képzelhető el: a megszorozandó vektor elemeit egy térbeli fénymodulátor (Spatial Light Modulator) által keltett intenzitásprofilal reprezentálnánk. A hengerlencsével képzett amplitúdó modulált kváziegydimenziós nyaláb vetülne rá a mátrix szerepét betöltő nanooszlop elemre. Az oszlopok elrendezésének meghatározásához a disszertációban ismertetett inverz tervezési algoritmust használhatnánk, amelyet itt nem fókuszálásra, hanem kifejezetten a vektor-mátrix szorzáshoz szükséges súlyok implementálására alkalmaznánk. Az oszlopok mögött keletkező intenzitásmintázat a távotérben reprezentálná a vektor-mátrix szorzás eredményét, amit vagy egy fókuszsíkra állított lencsével olvashatnánk ki, vagy tovább vezetnénk egy újabb nanooszlop tömbön, ha többrétegű hálót szeretnénk megvalósítani.

2. A 6.6/a ábrán szereplő hajlítások során volt-e valamilyen elváltozás a struktúrákon, ami az I-V görbén jelentkezne?

A 6.6 ábrán végzett kísérletben vékony polimer réteggel bevont, alsó kontaktusos ZnO nanoszálakat vizsgáltunk in-situ AFM hajlításos módszerrel. A disszertáció 6.6b ábráján látható relaxált és hajlított állapotban mért áram-feszültség karakterisztikákat a 8x8-as mátrix (6,6) elemén vettük fel (**V1a ábra**, folytonos zöld kerettel jelölve az I-V görbe felvételére használt taxelt). Mivel a kísérletek idején nem végeztünk célirányos szisztematikus vizsgálatot és a minta azóta már külföldi partnerhez került, a kérdés eldöntéséhez a projekt időszakában rögzített SEM képekre támaszkodhatunk. A kísérlet során a 8x8

mátrixelemből 8 db volt huzalkötéssel kivezetve a nyomtatott áramköri lapra, melyek közül a (6,6) taxelen kívül a (7,6) és (8,6) elemeket használtuk konstans villamos előfeszítésű vizsgálatokra (disszertáció 6.8. ábrája). A lenti **V1 ábra** a kérdéses taxelek SEM képeit hasonlítja össze a polimer borítás előtt (b), a polimer borítás után (c), és az in-situ AFM mérés után két különböző szögből (d és e). Ezek alapján nem történt detektálható morfológiai változás, pl. törés vagy plasztikus deformáció, sem az AFM hajlítás (narancssárga nyíl), sem attól eltérő irányban.



V1. ábra. Alulról kontaktált ZnO nnaoszálak in-situ AFM hajlításos vizsgálata: a 8x8 mátrix layoutja (a), SEM felvétel a polimer borítás előtt (b), közvetlenül a borítás után (c), valamint az AFM mérés után két különböző szögből vizsgáta (d és e). A képeken a zöld kerek az I-V méréseknek alávetett taxelt, a szaggatott zöld keret pedig az időfüggés vizsgálatára használt taxeleket jelöli. A narancsszínű nyíl az AFM hajlítás irányát mutatja. Ezek alapján nem mutatható ki strukturális változás.

Ennek egyik oka, hogy a nanoszálakat polimer bevonattal védtük meg, a másik, hogy a mérést rendkívül óvatosan, a laterális és normál irányú AFM fotodetektor jelek folyamatos monitorozása mellett végeztük.

Hivatkozások

- [1] D. Bouwmeester, I. Marzoli, G. P. Karman, W. Schleich, and J. P. Woerdman, "Optical Galton board," *Phys. Rev. A*, vol. 61, no. 1, p. 013410, Dec. 1999, doi: 10.1103/PhysRevA.61.013410.
- [2] P. L. Knight, E. Roldán, and J. E. Sipe, "Quantum walk on the line as an interference phenomenon," *Phys. Rev. A*, vol. 68, no. 2, p. 020301, Aug. 2003, doi: 10.1103/PhysRevA.68.020301.
- [3] X. Lin *et al.*, "All-optical machine learning using diffractive deep neural networks," *Science*, vol. 361, no. 6406, pp. 1004–1008, Sep. 2018, doi: 10.1126/science.aat8084.

Budapest, 2024. december 5.

Volk János, PhD